CARACTERIZAÇÃO E COMPARAÇÃO MICROESTRUTURAL DE TUBOS ASTM A213 Gr T11 SOLDADOS PELO PROCESSO GTAW (TIG)

MICRO-STRUCTURAL CHARACTERIZATION AND COMPARISON OF ASTM A213 Gr T11 PIPES SOLDED BY THE GTAW PROCESS (TIG)

Péricles Bosquetti[I]
Otávio Contart Gamboni[II]
Silvio Moreira da Silva[III]
Danilo Cantolini[IV]

RESUMO

Os tubos em "T11" são muito utilizados em regiões que trabalham em elevadas temperaturas, como superaquecedores de vapor em caldeiras aquatubulares e fogotubulares, requerendo muitas vezes uso de soldagens de manutenção durante sua vida útil. O objetivo deste trabalho é analisar alterações da microestrutura do tubo de aço baixa liga fabricado pela da norma ASTM A213 Gr. T11 e influência nas características mecânicas e microestruturais na região de soldagem por meio do processo de soldagem GTAW, antes e após exposição dos tubos nas condições de trabalho durante certo período, simulando-se a realização de soldagens de manutenção. Para isso, uma das amostras ficou exposta a altas temperaturas durante a operação do equipamento, sofrendo resfriamento em períodos indeterminados, e então foi comparado a uma amostra preparada em condições similares, mas antes do equipamento entrar em operação. Para caracterização e comparação dos materiais, foram feitos ensaios tais como microdureza, tração, deformação e análise metalográfica em ambas as amostras. Após análise dos resultados pôde-se avaliar a presença de ligeiras modificações microestruturais e das propriedades mecânicas do material que foi submetido às condições de uso, em elevadas temperaturas, mas de forma que não houve comprometimento dos tubos.

Palavras-chave: Aço baixa liga. ASTM A213 GrT11. GTAW. Microestruturas. Dureza.

ABSTRACT

The aim of this work is to analyze changes in the microstructure of the low alloy steel tube manufactured by the standard ASTM A213 Gr. T11 and welded through the GTAW welding process before and after exposure to working conditions for a certain period of time. The "T11" tubes are widely used in regions that work at high temperatures, as steam superheaters in aquatubular and fogotubular boilers. For this, one of the samples was exposed to high temperatures during the operation of the equipment, undergoing cooling in indeterminate

[I] Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: pericles.bosquetti@fatec.sp.gov.br
[II] Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail:
[III] Tecnólogo em Mecânica: Processos de Soldagem - Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo.
[IV] Tecnólogo em Mecânica: Processos de Soldagem - Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo.

periods, and then it was compared to a sample prepared under similar conditions, but before the equipment goes into operation. For characterization and comparison of the materials, tests such as microhardness, traction, deformation, and metallographic analysis were performed on both samples. After analyzing the results, it was possible to evaluate the presence of slight microstructural modifications and the mechanical properties of the material that was subjected to the conditions of use, at high temperatures, but in such a way that the tubes were not compromised.

Keywords: Low alloy steel. ASTM A213 Gr T11.GTAW. Microstructure. Hardness.

Data de submissão do artigo: 16/09/2020.
Data de aprovação do artigo: 31/10/2020.
DOI: 10.33635/sitefa.v3i1.138

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, com a necessidade por combustíveis limpos, que agridam menos a natureza, o etanol tem um importante papel neste contexto, e a exigência do mercado em equipamentos de maior rendimento para a fabricação do etanol. A caldeira a vapor tem uma importante função que é a de fornecer a energia necessária para o processo produtivo, produzindo vapores à altas pressões e temperatura que irá abastecer todo o processo para obtenção do etanol. Para a caldeira fornecer o vapor nas condições ideias do processo, são empregados alguns materiais importantes em sua fabricação, em especial, no superaquecedor de vapor, que é uma parte da caldeira formada por serpentinas de tubos que tem a função de aquecer ainda mais o vapor gerado pela caldeira, onde para suportar tal temperatura e pressão, é necessário o emprego de materiais específicos para este fim.

O presente trabalho tem por finalidade estudar as características do tubo utilizado para a fabricação do superaquecedor quando este fica exposto em determinada faixa de temperatura, durante sua operação, avaliando-se modificações microestruturais, mecânicas e de soldagem.

Para o estudo foram utilizadas duas amostras deste tubo, que foram soldados pelo processo GTAW, sendo que uma dessas amostras foi submetida à condição real de trabalho e, posteriormente, foram feitas algumas análises, como análise por microscopia óptica, ensaios de tração e também ensaios de dureza nas diferentes áreas como no MB (metal-base), metal de adição e na ZTA, com a finalidade de determinar se houve alguma alteração significativa no material quando submetido ao trabalho, e em caso positivo, avaliar se as mesmas comprometem o bom funcionamento do equipamento.

2 CALDEIRAS (GERADORES DE VAPOR)

Gerador de vapor é um equipamento capaz de produzir vapor utilizando energia térmica obtida pela queima de combustível, ar e fluido vaporizante. É constituído por diversos equipamentos associados, perfeitamente integrados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível. Basicamente, existem dois tipos de caldeiras: a fogotubular e a aquatubular, sendo que ambos os tipos de caldeiras podem ainda ser do tipo tubos horizontais ou verticais (PERA, 1990, p. 10).

2.1 Caldeira Fogotubular

São caldeiras projetadas para que os gases quentes da combustão passem por dentro e a água por fora dos tubos, ou seja, o lado do fogo fica por dentro e o lado da água fica por fora dos tubos da caldeira.

O vapor gerado pela energia transferida dos gases quentes da combustão passa para a água que fica circulando nestes tubos. À medida que os gases da combustão fluem pelos tubos, são resfriados pela transferência de calor para a água; assim, quanto maior o resfriamento dos gases, maior a quantidade transferida de energia. A perda de energia dos gases da combustão ocorre em função de vários fatores: da condutividade dos tubos; da diferença de temperatura entre os gases e a água da caldeira; da área de transferência de energia, do tempo de contato entre os gases e da superfície dos tubos da caldeira, entre outros (BEGA, 2009, p. 32).

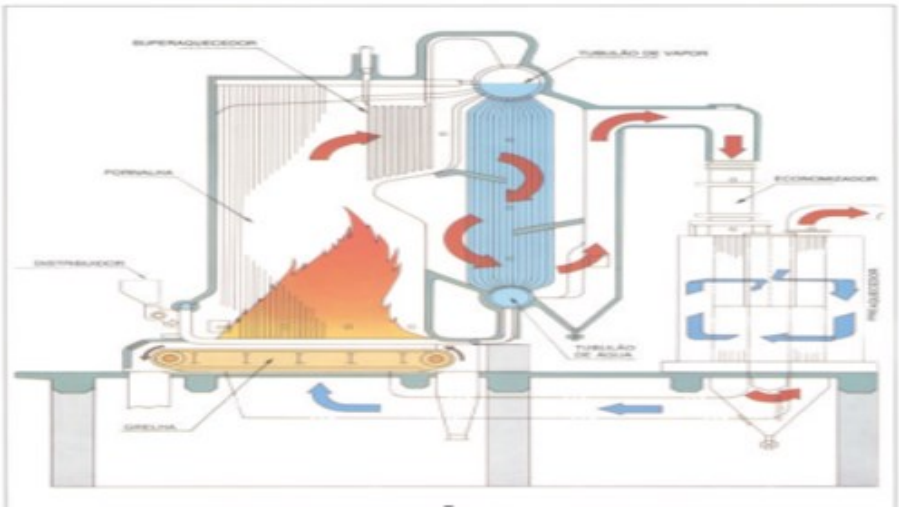
2.1.1 Caldeira Aquatubular

Conhecida como caldeira tubos de água, pelo fato de a tubulação ficar fora dos tubulões (tambor) formando um feixe tubular. Diferenciam-se das fogotubulares pelo fato de a água circular no interior dos tubos, e os gases quentes ficarem em contato com sua superfície externa.

São projetadas para obter pressões e rendimentos elevados, pois os esforços desenvolvidos nos tubos pelas altas pressões são de tração ao invés de compressão, como ocorre nas caldeiras pirotubulares e, também, pelo fato dos tubos estarem fora do corpo da caldeira de forma que as superfícies de aquecimento sejam ilimitadas. (MARTINELLI, 2009, p. 28). Um esquema com um gerador de vapor do tipo aquatubular, é mostrado na Figura 1.

O funcionamento de um gerador de vapor do tipo aquatubular, segue os seguintes passos: com auxílio de um ventilador, o ar atmosférico passa pelo pré-aquecedor, onde já aquecido, o ar vai para a fornalha onde se mistura com o combustível e ocorre a combustão. Pelo fenômeno da tiragem, realizado pela chaminé, os gases quentes, produtos da combustão, circulam por todo o gerador até serem lançados na atmosfera. Neste trajeto, eles cedem calor para a água dos seguintes modos: aquecendo a água no economizador; vaporizando-a na caldeira; transformando o vapor saturado em vapor superaquecido no superaquecedor.

Figura 1 - Esquema de um gerador de vapor do tipo Aquatubular

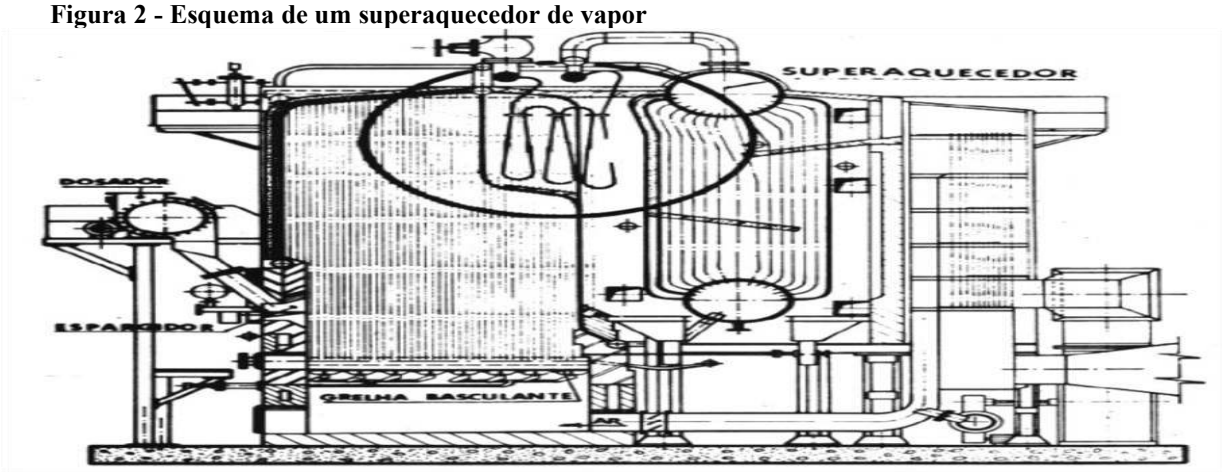


Fonte: Martinelli (2009, p. 8)

2.1.2 Superaquecedor de Vapor

Um superaquecedor consiste em um ou mais feixes tubulares, destinados a aumentar a temperatura do vapor gerado na caldeira (MARTINELLI, 2009, p.12). O esquema de um superaquecedor está mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema de um superaquecedor de vapor



Fonte: Pera (1990, p. 1)

2.2 Aço Liga ASTM A213 Gr T11

Um dos materiais mais utilizados na fabricação de tubulações de superaquecedores, e utilizado neste trabalho. A Tabela 1 apresenta a sua composição química nominal.

Tabela 1 - Composição Química do aço A213 Gr T11

Composição Química (%)	Carbono (C)	Manganês (Mn)	Fósforo (P)	Enxofre (S)	Silício (Si)	Cromo (Cr)	Molibdênio (Mo)
AçoA213 Gr. T11	0,05 – 0,15	0,30 – 0,60	0,025 máx.	0,025 máx.	0,5 – 1,00	1,00 – 1,50	0,44 – 0,65

Fonte: Tubosabc (2014)

2.3 Região da junta soldada

As principais regiões a serem analisadas em termos microestruturais são: zona fundida (ZF) ou metal de solda, zona termicamente afetada (ZTA) e metal-base (MB) (CHIAVERINI, 2012, pg.78). Na região soldada a microestrutura varia entre as regiões: no cordão, uma microestrutura típica de solidificação é encontrada, enquanto na ZTA, dependendo do aporte térmico e do tempo de duração, microestruturas de transição predominam (PASSOS, 2009, p.22). A Figura 3 mostra esquema das regiões de uma junta soldada.

Figura 3 - Figura esquemática de uma Junta Soldada.

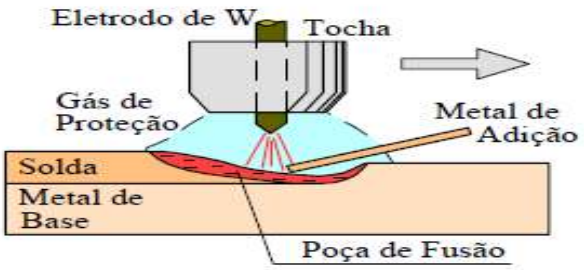


Fonte: Marques *et al.* (2017, p. 33)

2.4 Soldagem TIG (GTAW)

A soldagem a arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa (**Gás Tungsten Arc Welding** – GTAW) é um processo no qual o arco elétrico é estabelecido entre um eletrodo de tungstênio e as peças a unir. A proteção da poça de fusão e do arco contra a contaminação pela atmosfera é feita por uma nuvem de gás inerte ou mistura de gases inertes. A soldagem pode ou não ser com adição de metal de adição e, quando usada, é feita diretamente na poça de fusão. A Figura 4 ilustra o processo, também conhecido por TIG *(Tungsten Inert Gás).*

Figura 4 - Esquema de Soldagem TIG



Fonte: Marques *et al.* (2017, p. 205)

2.5 Consumíveis

De acordo com as propriedades desejadas para a solda a escolha do metal de adição é feita em função da composição química, e normalmente o metal de adição é de composição química similar à do metal-base, não necessariamente idêntica. Fatores como compatibilidade metalúrgica, adequabilidade à operação e custo devem também devem ser considerados.

2.6 Variáveis do processo

As principais variáveis operatórias de soldagem TIG são o comprimento do arco, a corrente, a velocidade de soldagem e o gás de proteção (MARQUES, 2017, p. 32).

O comprimento do arco é a distância entre a ponta do eletrodo e a peça de trabalho. Para uma dada corrente de soldagem e gás de proteção, a tensão do arco aumenta como aumento deste. Em geral, quanto maior o comprimento do arco, mais raso e largo é cordão de solda. No caso de soldagem com adição, o reforço do cordão tende a diminuir com aumento do comprimento do arco. Arcos muitos curtos ou muitos longos tendem a serem instáveis, o que favorece a formação de descontinuidades como porosidade, falta de fusão e mordedura.

A corrente de soldagem é selecionada diretamente na fonte de energia. Quanto maior a corrente, maior é a penetração e a largura do cordão. Para outros parâmetros constantes, o reforço do cordão tende a diminuir com o aumento da corrente, no caso de soldas com adição de metal. A geometria do cordão de solda varia com o tipo de corrente usada.

2.7 Vantagens e desvantagens da soldagem TIG

Pelo processo TIG, podemos relacionar várias vantagens tais como: obtenção de soldas de excelente qualidade e geralmente livres de defeitos; ótimas propriedades mecânicas e de acabamento; isento de respingos que geralmente ocorrem em outros processos a arco; permite

excelente controle na penetração de passes de raiz; pode produzir excelentes soldagens autógenas mesmo a altas velocidades; permite um controle preciso das variáveis da soldagem, entre outras. Quase todos os tipos de metais podem ser soldados por este processo, inclusive metais dissimilares e, permite um controle independente da fonte de calor e do material de adição, mas não solda em todas as posições e sim em posições específicas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Seguem descritos os materiais utilizados na confecção dos Corpos de Prova utilizados bem como o método de preparação para os estudos deste trabalho. Designou-se como CPA o metal-base "virgem", de tubo sem exposições, e CPB, do mesmo lote de material do tubo, mas que foi submetido ao trabalho real, sofrendo solicitações de pressão e temperatura por 6 meses.

3.1 Metal-Base

Foi utilizado como metal-base quatro tubos de aço-liga da especificação ASTM A213 Grade T11, com diâmetro externo de 38,1mm e espessura da parede de 3,76 mm e 100 mm de comprimento cada, A Tabela 2 mostra a composição química obtida da análise deste material que está de acordo com as faixas especificada para todos os componentes (conforme Tabela 1).

Tabela 2 - Especificação da composição química do tubo ASTM A213 Gr T11

Composição Química	C	Cr	Cu	Mn	Mo	P	S	Si
Porcentagem (%)	0,11	1,06	0,02	0,42	0,46	0,012	0,004	0,56

Fonte: Certificado de Qualidade Tubos Ipiranga (2020)

3.2 Varetas para Soldagem GTAW (TIG)

O processo de soldagem utilizado para a união dos tubos foi o processo GTAW (TIG) para os passes de raiz e SMAW (Eletrodo Revestido) para enchimento e acabamento.

Para a união dos corpos de prova utilizou-se os consumíveis de soldagem compatíveis com o metal base ASTM A213 Grade T11, assim para o passe de raiz e enchimento foi utilizado vareta para soldagem GTAW (TIG) de acordo com a norma ASME SFA 5,28 ER80S-B2 conforme apresentado na Tabela 3 (FORTES, 2014).

Tabela 3 - Especificação da composição química do consumível ASME SFA 5.28 ER80S-B2

Comp. Química	C	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	P	S	Si
Porcentagem (%)	0,11	1,35	0,02	0,51	0,51	0,03	0,0070	0,0030	0,57

Fonte: Certificado de Qualidade Arcelor Mittal (2020)

3.3 Método de Preparação dos Corpos de Prova CPA e CPB

A preparação dos corpos de prova para soldagem consiste em biselar as extremidades dos tubos onde será executada a soldagem, sendo que para o processo foi utilizado uma máquina de biselar pneumática portátil.

Antes do início da soldagem, foram verificados os consumíveis de soldagem, e as condições dos corpos de provas CPA e CPB se os mesmos estavam isentos de impurezas tais como: oxidações, poeira, graxa e etc. sendo que a limpeza da região a ser soldada foi realizada com disco abrasivo apropriado, e a limpeza entre passes com escova manual.

Os corpos de provas foram divididos em dois grupos sendo CPA e CPB, conforme descrito e, colocados em uma bancada para a realização da soldagem. Devido à ausência de proteção do lado oposto a soldagem do primeiro passe de solda, foi feito uma injeção de gás de proteção, utilizando o argônio 99,9% para o processo de soldagem de passe de raiz. Os corpos de provas foram pré-aquecidos a uma temperatura não superior a 150°C. A soldagem do passe de raiz e de enchimento foram realizados pelo processo GTAW utilizando o consumível ASME SFA 5,28 ER80S-B2, na posição horizontal, devido sua facilidade para soldagem. A soldagem efetuada foi do tipo corrente contínua com polaridade negativa, tendo como parâmetros elétricos, tensão entre 10 a 14 Volts e a corrente variando de 70 a 180 Ampéres. Os corpos de prova CPA e CPB obtidos neste processo, podem ser vistos nas Fotografias 1 e 2.

Fotografia 1 - CPA (Corpo de prova A)



Fotografia 2 - CPB (Corpo de prova B)



Fonte: fotografada pelos autores no laboratório de Ensaios Mecânicos da FATEC (2020)

Todo o processo de soldagem foi realizado na sede da empresa Engevap Engenharia e Equipamentos Ltda, na cidade de Sertãozinho-SP, pelo seu colaborador que possui número de identificação sinete S-08, conforme anexo B, e qualificado para realização de soldagem, conforme requisito da seção IX do código ASME, para soldagem dos processos empregados.

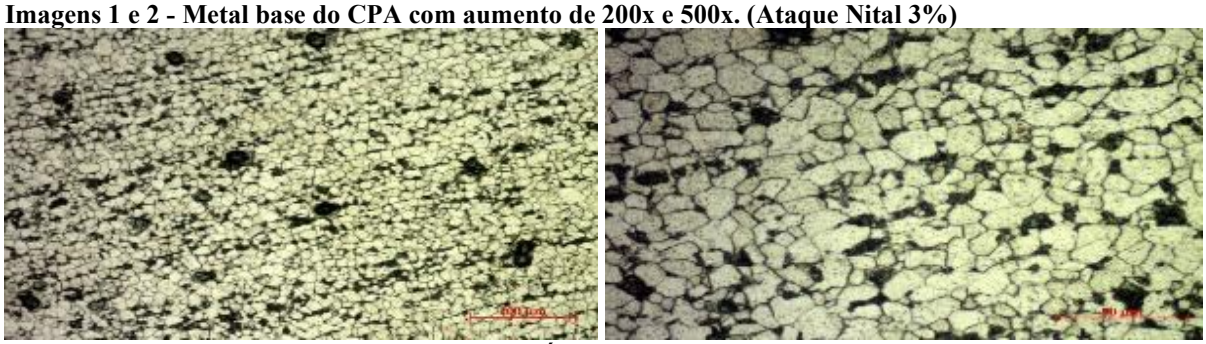
4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Seguem os resultados obtidos nos ensaios realizados nos Corpos de Prova CPA e CPB.

4.1 Ensaio de micrografia

As imagens 1 e 2 referem-se às microestruturas do metal-base do CPA, apresentando Matriz Ferrítica com presença de perlita. Nota-se um leve bandeamento microestrutural, tamanho de grãos ferríticos 9 a 10 conforme norma ASTM E112, microestrutura típica de um aço baixo carbono ou baixa liga, aumento de 500x, pode-se observar por meio deste aumento que a perlita apresenta-se fina e compacta, característica de aços-carbono ou de baixa liga.

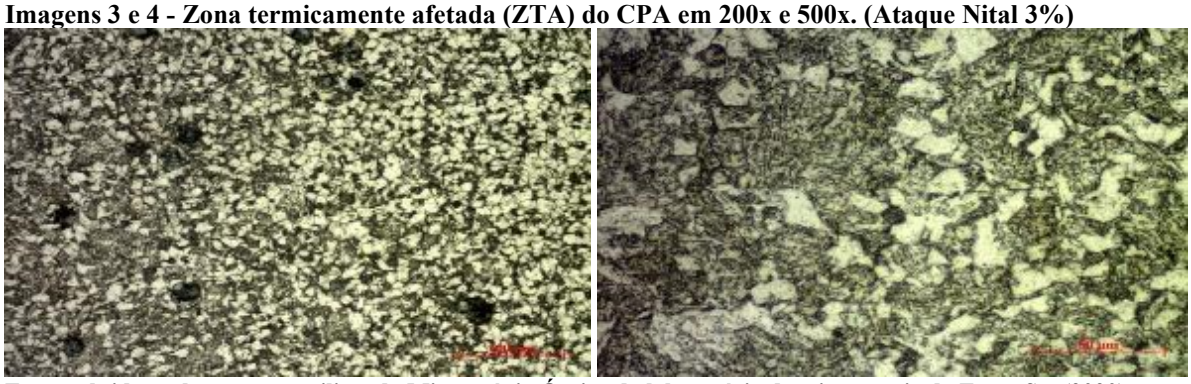
Imagens 1 e 2 - Metal base do CPA com aumento de 200x e 500x. (Ataque Nital 3%)



Fonte: obtidas pelos autores utilizando Microscópio Óptico do laboratório de microscopia da Fatec-Stz (2020)

As Imagens 3 e 4 referem-se às microestruturas da região da zona termicamente afetada (ZTA) do CPA, apresentando matriz ferrítica com presença de vários grãos de bainita fina, tamanho de grãos ferríticos 9 a 10 conforme norma ASTM E112, microestrutura típica de um aço baixo carbono baixa liga, nesta região. Com aumento de 500x, podemos notar a presença de bainita, composto produzido mediante resfriamento rápido após aquecimento dentro ou superior à faixa de transformação da matriz.

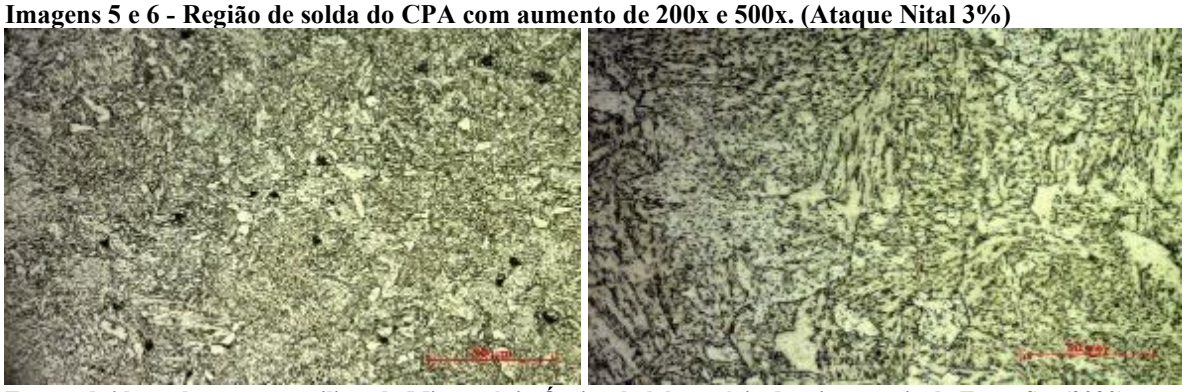
Imagens 3 e 4 - Zona termicamente afetada (ZTA) do CPA em 200x e 500x. (Ataque Nital 3%)



Fonte: obtidas pelos autores utilizando Microscópio Óptico do laboratório de microscopia da Fatec-Stz (2020)

As Imagens 5 e 6 referem-se às microestruturas da região da solda do CPA, apresentando matriz bainítica com presença de pequenos teores de ferrita distribuída na matriz em grãos finos, microestrutura típica de um aço baixo carbono e de baixa liga. Pode-se notar em 500x a presença de regiões com cementita globular, fase inicial de decomposição da matriz.

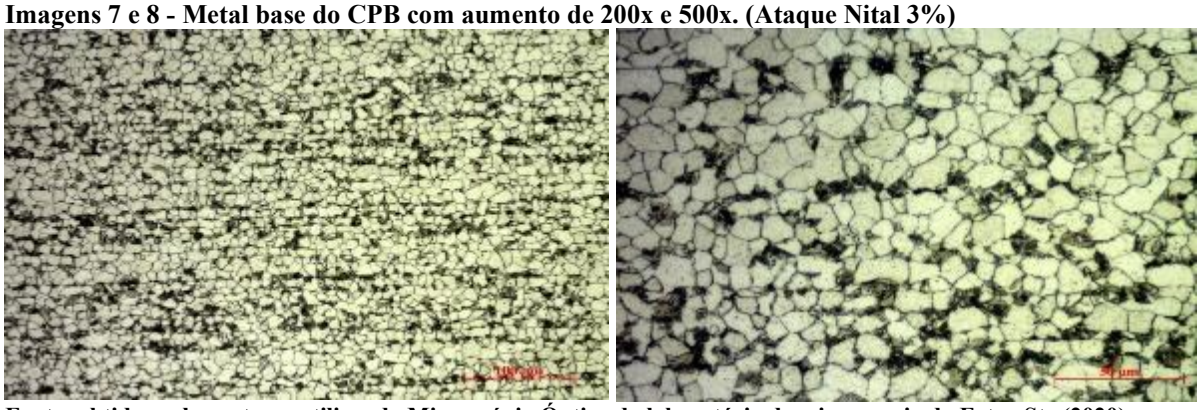
Imagens 5 e 6 - Região de solda do CPA com aumento de 200x e 500x. (Ataque Nital 3%)



Fonte: obtidas pelos autores utilizando Microscópio Óptico do laboratório de microscopia da Fatec-Stz (2020)

As Imagens 7 e 8 referem-se às microestruturas do metal-base do CPB, apresentando matriz ferrítica com menor teor de perlita. Nota-se um leve bandeamento microestrutural, tamanho de grãos ferríticos 9 a 10 conforme norma ASTM E112, típica de um aço baixa liga, conformado à quente. Em 500x, pode-se observar a perlita fina e compacta, característica de aços com elemento de liga residual.

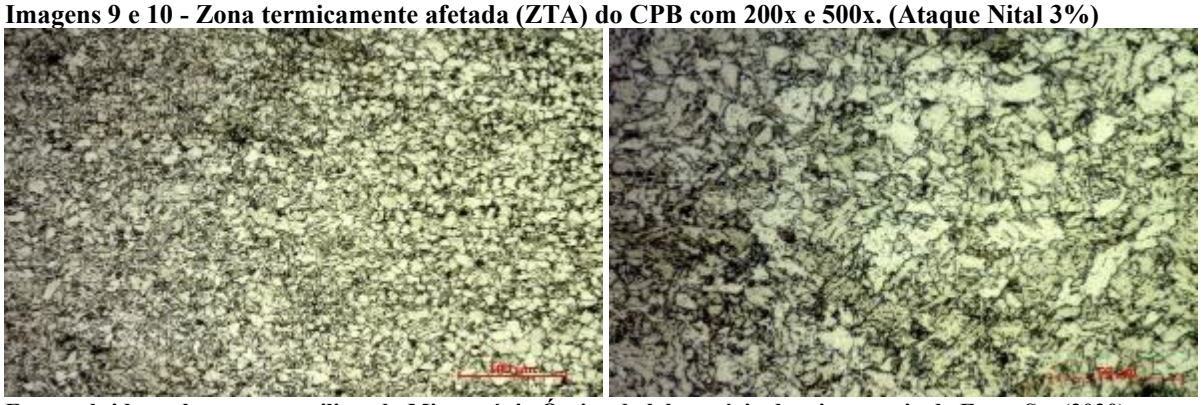
Imagens 7 e 8 - Metal base do CPB com aumento de 200x e 500x. (Ataque Nital 3%)



Fonte: obtidas pelos autores utilizando Microscópio Óptico do laboratório de microscopia da Fatec-Stz (2020)

As imagens 9 e 10 referem-se às microestruturas da região da zona termicamente afetada (ZTA) do CPB, apresentando matriz ferrítica com presença de cerca de 50% de bainita fina, tamanho de grãos ferríticos 9 a 10 (ASTM E112), típica de aço baixa liga.

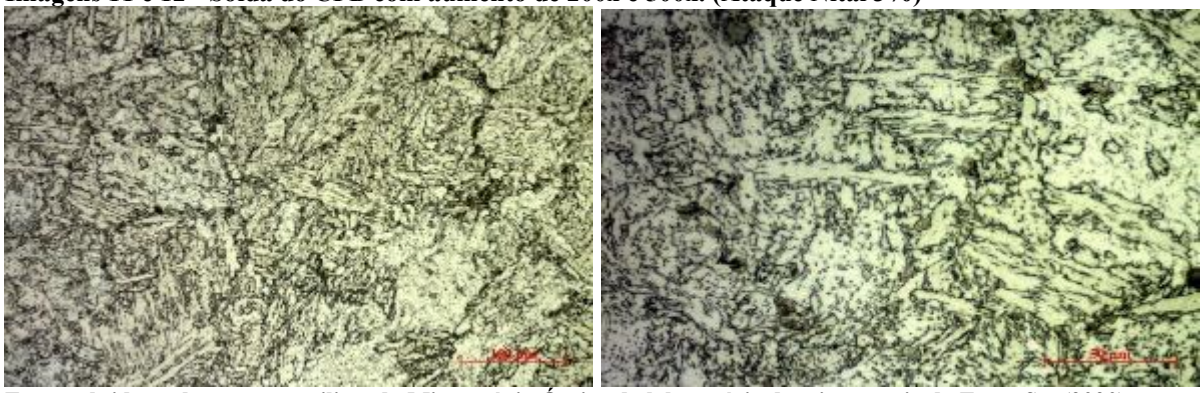
Imagens 9 e 10 - Zona termicamente afetada (ZTA) do CPB com 200x e 500x. (Ataque Nital 3%)



Fonte: obtidas pelos autores utilizando Microscópio Óptico do laboratório de microscopia da Fatec-Stz (2020)

As Imagens 11 e 12 referem-se às microestruturas da região da solda do CPB, apresentando matriz bainitica fina com presença discreta de carbonetos esferoidizados.

Imagens 11 e 12 - Solda do CPB com aumento de 200x e 500x. (Ataque Nital 3%)



Fonte: obtidas pelos autores utilizando Microscópio Óptico do laboratório de microscopia da Fatec-Stz (2020)

4.2 Ensaio de Microdureza (Hv)

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de microdureza Vickers realizado com aplicação de carga de 1kgf, nas regiões conforme a norma Petrobras N133 Rev. K, na Figura 5. Nota-se que o corpo de prova CPB, submetido em condições reais de trabalho, por volta de 380Cº, pelo ar quente liberado pela caldeira, apresentou valores pouco abaixo do CPA, que não foi submetido ao trabalho, devido ao processo térmico, ocasionando um alívio de tensões pela temperatura de trabalho da peça.

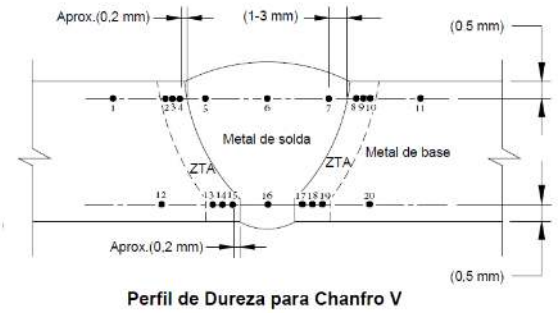
Tabela 4 - Ensaio de Microdureza "Vickers" (HV) conforme Petrobras N133 Rev. k

Localização dos Pontos	Metal Base		ZTA		Solda		Localização dos Pontos	Metal Base		ZTA		Solda	
	CPA	CPB	CPA	CPB	CPA	CPB		CPA	CPB	CPA	CPB	CPA	CPB
1	187	137	-	-	-	-	12	183	135	-	-	-	-
2	-	-	238	210	-	-	13	-	-	237	200	-	-
3	-	-	255	210	-	-	14	-	-	235	196	-	-
4	-	-	235	206	-	-	15	-	-	238	197	-	-
5	-	-	-	-	229	227	16	-	-	-	-	223	202
6	-	-	-	-	229	215	17	-	-	250	220	-	-
7	-	-	-	-	230	217	18	-	-	241	207	-	-
8	-	-	244	213	-	-	19	-	-	232	193		-
9	-	-	246	211	-	-	20	136	135	-	-	-	-
10	-	-	242	228	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	149	144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Laboratório de Ensaios Mecânicos da Fatec–Stz (2015) – elaborada pelos autores com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Fatec–Stz (2020)

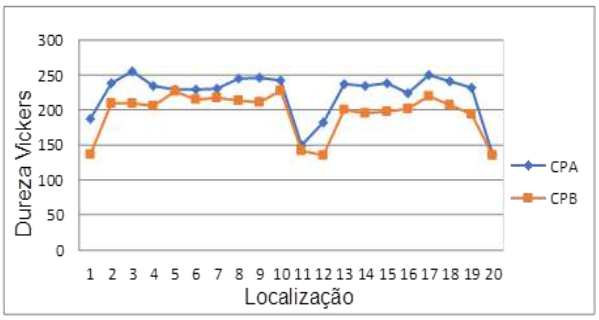
Os Valores de microdureza Vickers obtidos estão representados graficamente para se observar a distribuição das microdurezas ao longo das regiões próximas à solda e estão apresentados no Gráfico 1.

Figura 5 - Perfil de dureza Petrobras N133 rev.K.



Fonte: Norma Petrobrás N133 rev. K

Gráfico 1 - Perfil de microdureza obtido



Fonte: Laboratório Ensaios Mecânicos Fatec-Stz (2015) elaborado pelos autores (2020)

4.3 Ensaio de tração

Foram realizados dois ensaios de tração em cada corpo de prova soldado, conforme QW-451 da seção IX do código ASME IX Edição 2007, conforme Fotografias 3 e 4, sendo que

os valores obtidos estão descritos na Tabela 5, enquanto os resultados obtidos nos ensaios estão nos Gráficos 2 e 3 que mostram as curvas Tensão x Deformação obtidas nos ensaios.

Os resultados encontram-se dentro da faixa especificada para o material ASTM A213 Grade T11, em que a tensão mínima exigida é de 415 MPa. Devido aos corpos de prova serem soldados, o ensaio de tração aplicado, de acordo com a norma, só é necessário o limite de resistência, não sendo exigido os valores de escoamento, redução de área e alongamento.

Fotografia 1 - Amostras de Ensaios de Tração CPA



Fotografia 2 - Amostras de Ensaios de Tração CPB.



Fonte: fotografadas pelos autores no Laboratório de Ensaios Mecânicos da FATEC (2015)

Tabela 5 - Resultados obtidos nos ensaios de tração dos CPs (CPAs e CPBs)

CPs	Área (mm2)	Força Máxima (N)	Limite de Resistência (MPa)	Local da Fratura
CPA 1	38,12	21167,64	555,3	Metal Base
CPA 2	38,18	19396,24	508,0	Metal Base
CPB 1	38,25	21850,73	571,3	Metal Base
CPB 2	37,95	19454,13	512,6	Metal Base
Especificado	-	-	Mínimo 415,0	Metal Base

Fonte: Laboratório de Ensaios Mecânicos da FATEC (2015) elaborada pelos autores com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Fatec–Stz (2020)

Gráfico 2 - Curvas dos ensaios de tração dos CPAs

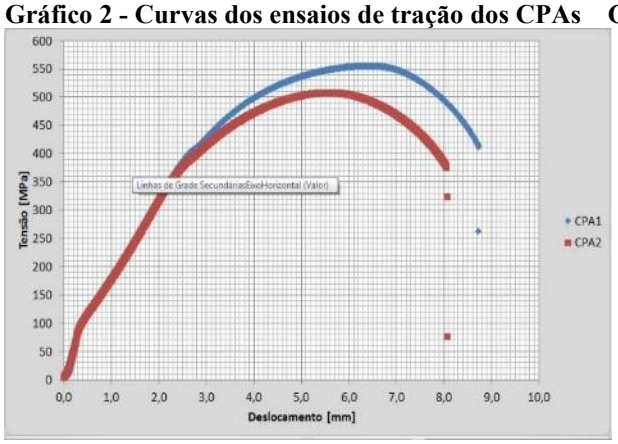
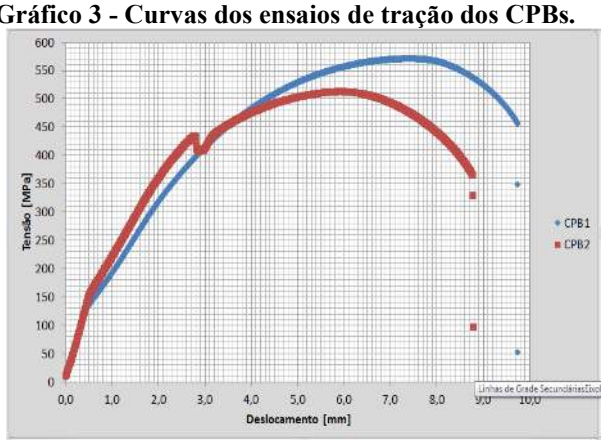


Gráfico 3 - Curvas dos ensaios de tração dos CPBs.



Fonte: Laboratório de Ensaios Mecânicos da FATEC (2015) elaborada pelos autores com os dados da pesquisa realizada no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Fatec–Stz (2020)

5 CONCLUSÕES

Após as análises realizadas nos CPs onde o material virgem que não sofreu qualquer tipo de interferência, denominado de CPA e o material que foi submetido ao trabalho real sofrendo interferências como pressão e temperatura, sendo soldado a seguir e denominado de CPB, verificou-se que os resultados obtidos foram bastante similares. Nos ensaios de tração dos

corpos de prova (CPA) e (CPB), observou-se ocorrência da ruptura no metal base, o que é desejável em estruturas soldadas e apresentaram limite de resistência a tração acima do especificado para o material ASTM A213 Grade T11. Desta forma, tanto a região termicamente afetada quanto a região da solda, apresentaram maior resistência que o metal base, não havendo perdas devido à exposição dos tubos em condições de trabalho (CPBs).

Nas microestruturas analisadas, notou-se que as microestruturas em CPA e CPB, em todas as regiões observadas, isto é, na região termicamente afetada, na região da solda e, também, no metal base, apresentaram-se com características muito similares. Em ambas, o metal base apresentou-se com uma matriz predominantemente ferrítica, com pequeno teor de perlita fina e compacta, e tamanho dos grãos entre 9 e 10, conforme norma ASTM E112. Na região termicamente afetada, observou-se uma matriz ferrítica com certo teor de bainita fina em ambos. Já na região da solda, CPA apresentou matriz bainítica com pequeno teor ferrita distribuída na matriz, já no CPB obteve-se uma matriz bainítica fina, com presença discreta de carbonetos esferoidizados. Nos ensaios de microdureza, essa proximidade das características da microestrutura do corpo de prova CPA e CPB, ficou bastante evidente, conforme observado na distribuição das microdurezas ao longo dos CPs, sendo que o CPB apresentou valores de dureza um pouco inferiores ao CPA, o que pode estar relacionado a difusão e alívio de tensões residuais por efeito da temperatura que esta região sofre com a peça quando está em trabalho efetivo. Assim, conclui-se que as condições de trabalho não alteram à microestrutura nem as propriedades dos tubos e as soldas de manutenção, quando realizadas “in loco”, mantendo-se as mesmas características iniciais sem perdas significativas às suas propriedades.

REFERÊNCIAS

BEGA, Egídio Alberto. **Caldeiras - Instrumentação e Controle**. Rio de Janeiro: JR Editora Técnica, 2009.

BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Processo de Soldagem**. 2000. Disponível em: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAADccAK/solda-tig?part=3.Acesso em: 16 ago. 2020

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros fundidos.** 7. ed. rev. e ampl. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2012.

COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**: revisão técnica André Luiz V. da costa e Silva. 4. Ed. São Paulo: Blucher, 2018.

FORTES, Cleber. **Metalurgia da Soldagem**. Esab: 2014.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A.Q. **Soldagem fundamentos e tecnologia.** 4. ed. atual. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017.

MARTINELLI, Luiz Carlos. **Geradores de Vapor**. Prof. UNIJUÍ 2009- Campus Panambi

PASSOS, Edmilson Ricelli. **Caracterização microestrutural de tubos soldados AISI 409 estabilizado ao titânio:estudo comparativo dos processos TIG e laser**. Lorena: USP, 2009.

PERA, Hildo. **Geradores de Vapor.** 2. ed. São Paulo: FAMA, 1990.
TUBOSABC. Site: http://www.tubosabc.com.br . 2010. Disponível em: http://www.tubosabc.com.br/tubos/tubos-em-aco-liga-astm-a-335/; Acesso em: 06 jun. 2020